

---

# PROFESORES ARTISTAS-REFLEXIVOS EN SISTEMAS EDUCATIVOS COMPLEJOS

QUEIROZ, GLÓRIA y FRANCO, CRESO  
MAST/MCT e PUC/RJ  
Rua General Bruce, 586 São Cristóvão  
CEP 20.921-030 Rio de Janeiro, Brasil  
[gloria@skydome.net](mailto:gloria@skydome.net)  
[creso@edu.puc-rio.br](mailto:creso@edu.puc-rio.br)

---

**Resumen.** La presente investigación cualitativa se ha desarrollado sobre la adecuación del paradigma del profesor artista-reflexivo en el estudio de docentes en la Enseñanza Media, en acción en sistemas educacionales complejos, con influencia de factores activos de contextos múltiples e interrelacionados. El uso de clases grabadas en vídeo permitió detectar dimensiones estéticas y técnicas del saber docente de un grupo de profesores de física. El artículo tiene el objetivo de contribuir a la discusión del saber docente dentro de la ciencia, basado en la *modelización* analógica cualitativa.

**Summary.** The qualitative research here developed was about the convenience of the artistic-reflexive paradigm to investigate high school physics teachers, in performance in complex educational systems, influenced by concurring factors of multiple and inter-linked contexts. Using observations and video-taped classes, aesthetic and technical dimensions of the teacher knowledge of a group of physics teachers could be detected. The article tries to contribute to the discussion of science teacher knowledge based on analogical modeling.

---

## INTRODUCCIÓN

Los profesores desempeñan un papel primordial en los sistemas educativos en los que actúan, disfrutando de una mayor o menor libertad de acción según los contextos escolares en los que se insertan. Reciben, en su cotidiano, diversas interferencias de currículos y sistemas de evaluación, además de aquellas provenientes de directores, supervisores, alumnos y padres. Durante toda su vida construyen un *saber docente* más amplio que el propio dominio de los contenidos de la asignatura. Al pasar los años, van construyendo un verdadero repertorio de representaciones pedagógicas oriundas de la experiencia no sólo del aula, sino ampliada por la búsqueda de un mejor desempeño profesional, siendo a veces llevados a interactuar con una red de profesionales que reflejan o investigan la práctica docente, de manera sistemática o no.

Con la intención de conocer y valorar lo que saben los profesores, los estudios sobre los procesos de enseñanza y

aprendizaje se han volcado cada vez más hacia el estudio de profesores en acción, intentando codificar representaciones del dominio pedagógico. Los estudios parecen adoptar la nueva agenda de investigaciones propuesta por Shulman (1986) para la educación en general y que en el terreno de la educación de las ciencias acarrea el conocimiento de formas empleadas para introducir distintos contenidos científicos, llevando en cuenta el conocimiento previo de los estudiantes. Se busca, así, la comprensión de las características de las preguntas y explicaciones de los docentes y del papel de la acción en la construcción de todo el *saber docente*, en un proceso creativo al saltar los imprevistos que cualquier situación de enseñanza-aprendizaje presenta.

Inspirado en la metáfora del aula como un sistema físico complejo, el estudio cualitativo que originó el presente artículo (Queiroz, 2000) mostró la conveniencia del para-

digma artístico-reflexivo (Schön, 1992a y b; Pérez Gómez, 1992) para analizar a profesores en ejercicio en el ciclo secundario brasileño, bajo la interferencia de factores múltiples e interrelacionados. El análisis conjunto de observaciones en el aula y entrevistas reveló que, al invertir en la construcción del saber innovador, los profesores analizados maximizan la atención a los distintos factores involucrados en su acción, y consiguen evitar la «muerte térmica» tan presente en los sistemas educativos. Entre las innovaciones se destacó el uso de analogías integrando diversos tipos de argumentos que se concatenan durante las clases.

El presente trabajo presenta un resumen de las características artísticas-reflexivas del ejercicio del equipo de profesores de Física en una escuela privada del distrito de Niteroi/RJ/Brasil.

## METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

La metodología adoptada fue la de una investigación cualitativa, que a nuestro entender no se concreta en orientar u ofrecer interpretaciones cerradas y acabadas de la situación estudiada, sino en propiciar los datos, las experiencias y poner algunas interpretaciones en la mesa de discusiones.

Los cinco docentes de física, actuando en la enseñanza media brasileña (clases de 35 alumnos de 15 a 18 años de una escuela privada), fueron seleccionados por su trabajo innovador, hecho a partir de los intercambios efectuados con grupos universitarios de investigación en enseñanza de las ciencias y generador de una colección completa de 3 libros de física.

El estudio ha tomado en consideración características de contexto, no solamente de la propia escuela como espacio organizador de las actividades docentes, sino también de las interferencias del contexto educativo más amplio, en cambio constante, que acarrear presiones que afectan el trabajo de los profesores. Para analizar los distintos factores que intervienen en las innovaciones en la práctica docente, se han grabado algunas clases en video, además de grabar en cintas de audio entrevistas individuales con los docentes.

De las 56 clases observadas en un período lectivo –4 meses, de agosto a noviembre de 1998–, se han escogido 27 clases de 40 minutos para analizar. El criterio de selección buscó secuencias en las que fuese posible configurar un episodio de enseñanza interesante para el estudio.

Para el análisis de los datos se empleó el software NUD\*IST (1997) –*Non numerical Unstructured Data Indexing Searching and Theorizing*–, que trabaja con datos durante análisis cualitativos; se buscaron las dimensiones del profesor artista-reflexivo tratadas en el presente artículo.

## LA METÁFORA ADOPTADA: EL AULA COMO UN SISTEMA FÍSICO COMPLEJO

La idea de usar la metáfora provino del deseo de ver profesores en acción reflexiva en sistemas no deterministas sin

adoptar modelos de causa única. Los sistemas físicos complejos no son deterministas, de destino final conocido, ni caóticos, de futuro imprevisible por la rápida amplitud sufrida por pequeñas incertidumbres en la determinación de sus condiciones iniciales. En un sistema complejo, formado por muchas unidades interconectadas sujetas a variaciones, cada una se colocará según las solicitaciones que recibe de las demás (Oliveira, 1993). Debido a los conflictos que surgen, no se puede satisfacer al mismo tiempo las exigencias de todas, adoptándose una solución de compromiso que intenta maximizar el atendimento global.

En la física clásica, el desarrollo de la termodinámica llevó a los conocidos problemas en las transformaciones de energía. Por la segunda ley, la cantidad de calor dada a un sistema, para que realice un trabajo, nunca se recupera totalmente, habiendo siempre una pérdida. Esto podría indicar tendencias preferenciales de la naturaleza a buscar siempre estados menos organizados, que no necesitan mucha energía para existir. El límite sería la «muerte térmica» en un caos indiferenciado, en el que todos los hechos son igualmente probables.

Hacia fines del siglo pasado, Boltzmann introdujo el concepto de probabilidad: para sistemas con un número alto de elementos, la probabilidad de llegar a la muerte térmica es tan alta que puede considerarse como segura. Esta imagen sombría de la evolución de los sistemas aislados estaba en nítido contraste con la idea evolucionista sostenida por biólogos y científicos sociales que observan la evolución del universo vivo, compuesto por sistemas que van hacia estados de organización creciente, en los que ocurren innovaciones, generando la diversidad.

La metáfora del aula como un sistema complejo fue un conductor importante para el análisis de las clases innovadoras halladas. Ya hace tiempo que se considera la complejidad del fenómeno educativo, en función de las variables que el educador debe tener en cuenta en su práctica. Más específicamente en la educación en ciencias, vemos muchas variables: el interés de los alumnos, su disponibilidad para aprender, su nivel de razonamiento y el socio-económico, sus ideas propias y vivencias culturales. Con respecto al profesor, su conocimiento del *contenido didáctico* de la asignatura (Shulman, 1987), su interés en el aprendizaje de los alumnos, su repertorio de capacidades y habilidades, sus objetivos educativos, etc.

Aun inmersas en sistemas complejos también, como la escuela y el contexto más amplio, con influencias difíciles de controlar, interconectadas y muchas veces conflictivas, algunas clases se desarrollan como sistemas vivos complejos, marchando en sentido opuesto al que las llevaría hacia el desorden caótico. A lo largo de este trabajo nos deparamos con clases que funcionan como tales sistemas.

El estudio contemporáneo de los sistemas complejos constata que, aun con imposición física a todos los sistemas hacia la muerte térmica, no se excluyen las excepciones locales. Ciertos elementos «nadan contra la corriente» a expensas de sus vecinos. «Un organismo vivo se mantiene en su estado altamente organizado retirando energía de alta calidad del medio externo y procesándola para obtener,

dentro de sí, un estado más organizado» (Schneider y Kay, p. 188). Jacob (1983) nos señala también que por el hecho de recibir energía proveniente del medio, en forma de alimento, los seres vivos están en condiciones de preservar su bajo nivel de desorganización a través del tiempo. Retirando energía de calidad de este medio un organismo vivo puede, además, evolucionar para estados con una organización mayor.

Profundizándonos en la metáfora, pueden formularse algunas preguntas: ¿Cómo son las clases complejas observadas en este estudio? ¿Adónde fueron los profesores a buscar la «energía» para llevar al aula, y evolucionar hacia una interacción mayor de los estudiantes?

## EL ARTE DE EDUCAR Y EL SABER DOCENTE

Las respuestas a las dos preguntas de la sección anterior no se encontrarán en la lógica que anticipa los conocimientos teóricos a los prácticos, sino en un acercamiento al Arte. Son frecuentes las referencias al «arte de enseñar» de profesionales expertos en el manejo de situaciones de incertidumbre, indeterminación, singularidad y conflicto (Schön, 1992a). Al mismo tiempo, un *saber docente* se reconoce en los profesores-artistas, indicando que su arte incorpora técnicas apropiadas. Una primera respuesta global a la cuestión de lo que sabe un profesor experto surgió con el paradigma del profesor reflexivo, o sea, aquel que reflexiona durante la acción. Schön (1992b) afirma que «el proceso de reflexión-en-la-acción (...) puede desarrollarse en una serie momentos sutilmente combinados en una habilidosa práctica de enseñanza» (p. 83).

Entre las principales dimensiones de la reflexión-en-la-acción están: (a) las múltiples representaciones del profesor sobre educación, ciencia, conocimiento previo de los alumnos y proceso pedagógico de «diálogo reflexivo»; (b) las emociones de cognición<sup>1</sup>, relacionadas a la confusión y a la incertidumbre en los momentos de enseñanza-aprendizaje; y (c) los modos de interacción entre profesores y alumnos.

Estudios en el área de educación (Eisner, 1979 y Pérez Gómez, 1992) han encontrado en el Arte inspiración para reflexionar sobre el trabajo de profesores artistas-reflexivos, incorporando tanto el análisis de la rutina de enseñanza como el de los momentos de creatividad.

## MODELOS Y MODELIZACIÓN

A la luz de una línea de estudio que ve en los modelos mentales y en la modelización cualitativa de los fenómenos (Moreira, 1997; Gilbert y Boulter, 1995; Nersessian, 1995; Pintó et al., 1996) una referencia importante, se analizaron datos obtenidos de la práctica de profesores considerados artistas-reflexivos. La relación entre representa-

ción y realidad se ve como mediada por un conducto teórico compartido por la Ciencia y el Arte: los modelos, puentes entre la teoría y la *empiría*. El razonamiento analógico es uno de los senderos para la construcción del conocimiento humano, a partir de un dominio que sirve como fuente de creación en el dominio blanco (Queiroz, 2000). Los profesores recurren a procesos semejantes para la modelización de fenómenos, objetos e ideas, construyendo los modelos consensuales de la ciencia escolar. Sin embargo, tienen su visión alejada de la hipervaloración de la reproducción de técnicas en el proceso educacional.

## DIMENSIONES ESTÉTICA Y TÉCNICA DEL ARTE DE ENSEÑAR FÍSICA

Es una constante en el ideario de los profesores sujetos de este estudio el objetivo de educar para formar ciudadanos intelectualmente autónomos para conducir sus vidas futuras. Para lograrlo, intentan desarrollar habilidades y competencias en los estudiantes, para que éstos logren atribuirles significado a los contenidos de física. El empleo de recursos diferenciados contribuye para una mayor igualdad de oportunidades de aprender, sobre todo para aquellos estudiantes puestos al margen por las actuales prioridades dadas por la educación científica, pensada con el empleo exclusivo de la representación lógico-formal.

Al llegar a sus aulas, hallamos sistemas complejos, didácticamente avanzados con respecto a otros donde se impartía la enseñanza tradicional, principalmente en lo que se refiere a la preocupación de los profesores por el diálogo con sus alumnos, valorando sus intereses, sus emociones, sus objetivos, sus preguntas y su conocimiento anterior.

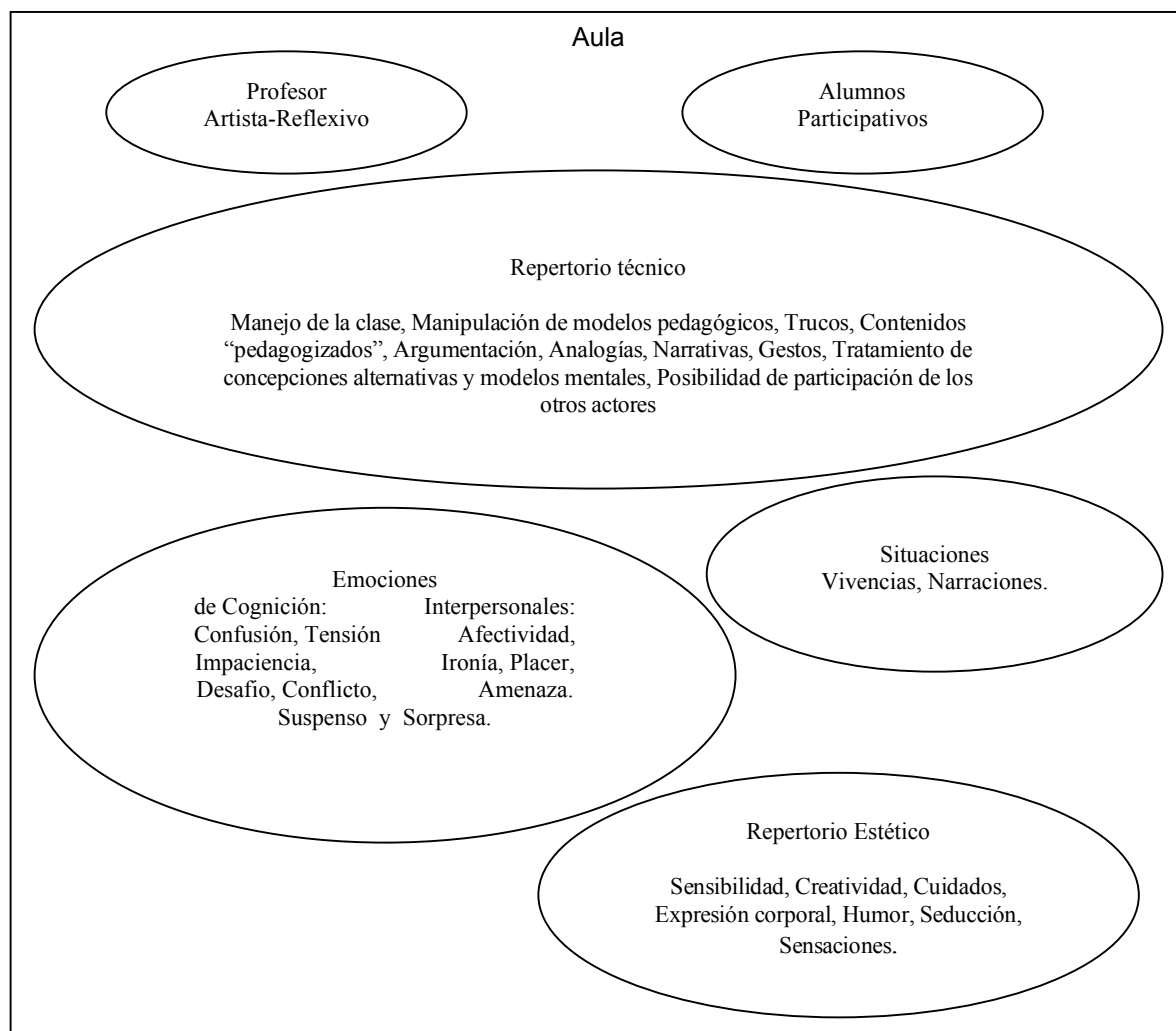
Los análisis hechos sobre la actuación de los profesores nos traen elementos que contribuyen para articular el paradigma del profesor artista-reflexivo, dejando clara la fecundidad del mismo. Las clases observadas se consideraron en muchos momentos como salas de «espectáculos», siendo escenario de aprendizaje, entretenimiento, discusiones y emociones, y revelando los repertorios técnico y estético del arte de enseñar física, resumidos en el recuadro 1.

El principio de la sensibilidad, adoptado con valor estético, estuvo presente, entrando en resonancia con las directrices nacionales para la enseñanza secundaria:

*La estética de la sensibilidad, que deberá reemplazar a la de la repetición y esquematización, estimulando la creatividad, (...) la curiosidad por lo inusitado y la afectividad, así como facilitar la constitución de identidades capaces de soportar la inquietud, convivir con lo incierto y lo imprevisible... (MEC, 1998)*

Las estrategias creativas, en las que los aspectos estéticos y técnicos se pudieron detectar, causaron estados de emoción entre los protagonistas, siendo agrupados en *emociones interpersonales y de cognición*, también presentadas en el recuadro 1.

Recuadro 1  
Esquema de los elementos observados en el análisis de datos.



## EJEMPLOS DE ARTE-REFLEXIÓN DE LOS PROFESORES

En las clases, los profesores lidiaron con los sentimientos de su público, emocionándose también en las representaciones teatrales, en las narraciones o en las vivencias, que alcanzaron su auge en los momentos en que los alumnos participaron de forma más activa. Situaciones entre las grabadas en video en este estudio son ejemplos de la sensibilidad para actuar en los momentos en que la reflexión en acción se hace necesaria. Entre ellas presentamos una *Vivencia del profesor Luiz Alberto*, en la que él revela la creatividad de su repertorio profesional. Del lado estético, usa el sentido físico de la visión, invitando sus alumnos a

que memoricen el brillo distinto de bombillas en varios tipos de asociaciones. Los desafió también a tener sensaciones imaginarias, como por ejemplo, sentirse como un Coulomb energizado. Del lado técnico, está la adecuada manipulación del modelo pedagógico «recuadro de bombillas»<sup>2</sup> (Figura 1). Aún desde el lado técnico, está el sondeo de las concepciones alternativas y los modelos mentales previos de los alumnos. Para dar más realidad y pragmatismo a la vivencia, acercándola al cotidiano de los alumnos, elige una analogía, creada por él mismo, entre resistores y puestos de peaje en una carretera<sup>3</sup>.

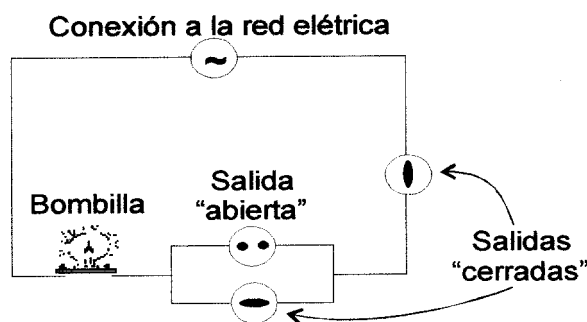
Las emociones de cognición de confusión, ansiedad e impaciencia surgen ante los suspensiones y sorpresas provocadas por el profesor. Esto se nota especialmente durante el

análisis de un cortocircuito. Se destacan también otros dos hechos experimentales, igualmente inesperados por los alumnos: (1) el brillo de dos bombillas iguales, cuando están conectadas en paralelo es nítidamente mayor que cuando están conectadas en serie, y (2) el brillo de dos bombillas distintas se invierte cuando el tipo de asociación se cambia de serie a paralelo. Las emociones relacionadas a los sentimientos interpersonales también se hacen evidentes por las risas durante las bromas y juegos de palabras realizados. En los momentos de inquietud de los alumnos, el profesor Luiz Alberto, preocupado por la tranquilidad necesaria para la atención del conocimiento, intenta calmarlos al mismo tiempo que los invita a «disfrutar», diciendo: «ustedes verán qué bueno».

Las clases sobre «asociaciones de resistores» estuvieron centralizadas en la argumentación de la noción de que el brillo no depende solamente de la resistencia de la bombilla, sino del tipo de circuito, dado que en la asociación en serie ocurre división de voltaje y en la asociación en paralelo hay división de corriente. Así, los hechos (1) y (2) se justifican.

El problema se trata inicialmente con el uso del «recuadro de bombillas», en el cual se coloca en principio solamente una bombilla, cerrándose dos de las otras salidas con chapas de metal protegidas por camadas aislantes. Enseguida se colocan tres bombillas iguales. Como su brillo va a variar durante la manipulación del modelo, el profesor Luiz Alberto llama la atención de los alumnos sobre la intensidad del mismo entre las bombillas.

Figura 1  
Esquema representativo del modelo pedagógico  
«recuadro de bombillas».



Profesor: *¿Que está pasando aquí? Memoricen el brillo pues lo voy a necesitar. Memoricen, memoria visual. ¿Bien ofuscante, no es cierto?*

Empieza a crear suspenso, despertando simultáneamente las emociones de cognición, de sorpresa, ansiedad, desafío y confusión:

Profesor: *Lo primero que ustedes tienen que notar aquí es que en un circuito eléctrico sucede algo que yo llamaría*

*de información inmediata. Cuando usted conecta esta llavecita aquí... no voy a conectarla ahora, pues quiero crear un suspenso... el generador ya sabe que tiene que alimentar no una bombilla, ni dos, sino tres. Él ya recibe esta información. ¿Que es lo que hay allí? Hay un conjunto de  $n$  resistencias, conectadas de esta manera, y es para este conjunto que él realiza instantáneamente el cálculo de la resistencia total y envía esta corriente.*

La invitación a los alumnos para que imaginen la sensación análoga a la que sentiría la carga eléctrica, si fuese humana, se relaciona a la idea de que, en el pasaje por el generador, el Coulomb gana energía, que después se gasta emitiéndola a las bombillas, siendo de nuevo recuperada en el generador. En una sucesión de diferentes asociaciones en el recuadro de bombillas, surge la sugerencia, dada por un alumno, de cambiar una bombilla por un cable, en paralelo con una bombilla. Esto origina un cortocircuito que causa asombro (*¿sorpresa?*) cuando la bombilla en paralelo se apaga.

Profesor: *Ahora quiero lo siguiente, intenta esto: Yo soy un Coulomb... corriente es Coulomb en tránsito. Quería que me dijese lo siguiente: ¿en qué parte de aquel circuito estás con más energía?*

Alumno: *¿Y si no tengo ésa?*

Profesor: *¿Ésa (resistencia encima, entre las dos en paralelo)?*

Alumno: *No, la de abajo.*

Profesor: *¿La de abajo? Da lo mismo, iba a gastar una parte aquí y ahora una parte aquí. Si no hubiese aquí, tú estarías con una conexión puramente en serie.*

Alumno: *¡No, no! ¿Y si tuvieses un cable allí (en el lugar de la de abajo)?*

Profesor: *¡Ah, no! Eso ya es otra cosa, así tú te estás adelantando. Haré aquí (en la pizarra) un cortocircuito. Si tuvieses un cable pasando por allí (Luiz borra de la pizarra la resistencia y dibuja una raya continua representando el cable).*

Alumno: *Pon esto ahí.*

Profesor: *Ven a hacerlo tú.*

Como el alumno no viene, el profesor prosigue, encaminando él mismo el cortocircuito, sugerencia del alumno:

Profesor: *Pondré algo aquí en paralelo (chapita de metal que cierra el circuito).*

Alumna: *No hay resistencia.*

Profesor: *No tiene ninguna resistencia! ¿Sorpresa?*

A lo largo de la clase, el profesor Luiz Alberto muestra su técnica de lidiar con el modelo pedagógico, cambiando

hábilmente las posiciones de las bombillas, de manera que se produzcan los efectos deseados con respecto a la variación de los brillos, provocando un clima de suspenso durante toda la clase. Los alumnos participan enfrentando el desafío de hacer previsiones, intentando comprender las causas de lo que sucede, y que muchas veces contraría las previsiones hechas.

Tras la sorpresa ante la bombilla que se apagó por la simple colocación de una chapita de metal en la salida vacía, el profesor usa la analogía con la carretera con peaje en la conclusión de la clase. En la analogía, si el guardia (bombilla) de uno de los dos puestos (salidas) sale para tomar un cafecito, dejando el paso libre para los automóviles, todos los conductores (Coulombs) optarán por pasar por el puesto (salida con chapita de metal) vacío, sin pagar nada (la bombilla que no se enciende). En el caso eléctrico, no se emitirá luz porque toda la corriente optó por pasar por el cable que no ofrecía resistencia.

Para no perder la visión completa del complejo proceso de enseñanza-aprendizaje desarrollado por los profesores analizados, en las próximas secciones se enfocará el desarrollo de las argumentaciones y el empleo del razonamiento analógico en la modelización. El arte se mantiene presente y se muestra un campo de comunicación en el que muchos lenguajes entrelazados alcanzan la razón y la emoción simultáneamente.

## LA ARGUMENTACIÓN

El análisis artístico-reflexivo del proceso argumentativo en el aula puede dar una amplitud mayor que los realizados dentro del paradigma teórico del cambio conceptual propuesto por Posner, Strike, Hewson y Gertzog (1982), y ampliamente adoptado en las investigaciones en educación en ciencias en los años 1980 y 1990. Duit (1999) resume las críticas hechas a este paradigma, de fertilidad indiscutible, advirtiendo sobre la complejidad de los cambios involucrados en la educación en ciencias, definiéndola como un proceso dependiente de muchas variables que marchan unidas. Opina que para que se analicen los caminos de cambio de las concepciones alternativas hacia las de la ciencia, los estudios deben abordar las condiciones que dan soporte a los cambios, incluyendo motivaciones, intereses y creencias de los estudiantes, así como el ambiente del aula.

La modelización es una estrategia de enseñanza en la cual los profesores analizados intentan construir modelos con sus alumnos, a partir de ideas previas que éstos traen a la escuela. En los muchos momentos de argumentación usan analogías y metáforas entre un dominio conocido y el nuevo, realizan pruebas experimentales o matemáticas, cuentan historias o narran hechos del cotidiano, usando más de uno de esos elementos para argumentar con sus alumnos sobre una misma idea que explique un hecho o resuelva un problema físico.

La argumentación es un arte. Por medio de ella, quien argumenta seduce a sus oyentes, encantándolos con la belle-

za de los argumentos usados, y termina convenciénolos de ideas que puedan compartirse en proyectos y recuerdos, en el futuro. Para alcanzar este objetivo, los buenos argumentadores se integran al universo de su auditorio, eventualmente extraño al suyo, intentando transformar la verdad ajena. Desmoronan conceptos ingenuos e introducen ideas nuevas, ofreciendo explicaciones mejores para los hechos ocurridos, pudiendo generar soluciones más completas y satisfactorias para los problemas inherentes al tema.

En el aula de ciencias, persuadir es motivar a los alumnos a entrar al universo de conocimientos que llevan a las mejores explicaciones, evitando coacciones autoritarias y conduciéndolos hacia una participación activa en la construcción de su conocimiento. Para que el profesor entre al universo de sus alumnos, necesita que desde un primer momento ellos expliciten sus ideas, para que durante el proceso de enseñanza-aprendizaje pueda quedar claro que, aunque éstas parezcan apropiadas para explicar situaciones físicas particulares y hasta para resolver problemas del cotidiano, los modelos traídos por el profesor son los que se deben adoptar por estar corroborados por razonamientos aceptados en el campo de la ciencia.

En las clases que se han observado, el respeto por la presencia de los alumnos, sus modelos y concepciones, sirve de punto de partida para el desarrollo de argumentos, además de proveer un intercambio entre alumnos y profesores que torna más dinámica la práctica docente artística-reflexiva.

## ARGUMENTACIÓN EN LAS CLASES OBSERVADAS

Al intentar comprender los aspectos relevantes del ejercicio docente en física en la escuela de enseñanza secundaria que se ha estudiado, el papel de la argumentación en el discurso de los profesores se ha mostrado sorprendente. El esfuerzo para convencer a los estudiantes de las explicaciones, leyes y valores de la física era muy grande. La creatividad de los profesores surgió en el empleo de varios tipos de argumentaciones entrelazadas, proporcionando enriquecimiento de la argumentación para convencer a los alumnos a que abandonen modelos e ideas alternativas a las científicas, haciendo cambios de representaciones.

A partir del análisis de secuencias de clases seleccionadas, se construyeron categorías para los argumentos empleados por los profesores. Éstos usaron más de una clase para alcanzar metas de cambios en las explicaciones dadas por los alumnos a cuestiones propuestas por los docentes o por ellos mismos. Se observa, con esto, la comprensión de los profesores de que no todos los alumnos se interesan por participar en el proceso de cambio al mismo tiempo. La insistencia para que más y más alumnos expliciten sus ideas previas, alternativas a las científicas, aun cuando las correctas ya han surgido en la clase, demuestra la preocupación por que el conocimiento nuevo se construya en el grupo social formado por todos los alumnos de la clase.

El proceso de argumentación desarrollado fue desmembrado en argumentos agrupados en categorías, basándose en tres criterios principales: la fuente en la que el profesor buscó argumentos; el objetivo del argumento; y las características principales del mismo (Queiroz, 2000).

De las clases, surgieron argumentos tipificados en: (1) prácticos, (2) factuales, (3) de coherencia, (4) de conflicto, (5) lógico-casuales, (6) demostrativos, (7) matemáticos y (8) históricos. La fuente para (1) y (2) está en la vida cotidiana, real o virtual, para (3), (4) y (5) en la lógica elemental común a la Ciencia y al pensamiento lógico cotidiano, para (6) y (7) en la Física del currículo, y para (8) en la historia general y de la Ciencia. Como en cualquier división por categorías, los argumentos observados, a veces, se encuadran en más de un tipo.

La importancia de argumentar considerando las ideas previas de los estudiantes, se destaca en la entrevista del profesor Luiz Alberto, coordinador del equipo de Física, realizada posteriormente a la observación de sus clases:

*Profesor: Sobre esta cuestión de la acción pedagógica... Yo, cuando empecé a dar clases, tuve la visión del modelo de profesor que quería ser... un buen profesor. El tipo que entra al aula, y, bien, tiene cierta organización... Siempre tuve buen retorno del alumno... a ellos les gustaban mis clases... Entonces creo que fue el primer cambio que surge en mi historia... fue el día que logré librarme de llevar aquel guioncito para la clase... el día que sentí que no lo necesitaba más, mis clases cambiaron... Entonces uno entra con una idea general de lo que tratará, pero uno no tiene ataduras... las clases empezaron a quedarse curiosamente distintas, y creo que éste fue uno de los aspectos... cualquier profesor debe intentar hacerlo: librarse de las ataduras. ¿Por qué? Porque empieza a surgir la idea de abrir espacio para el alumno. La pregunta que el alumno hace te lleva hacia algo distinto de lo que habías imaginado a priori... yo empecé a sentir en ese momento que mis clases quedaron aún mejores y con una mayor participación de los alumnos, con esto de que hagan preguntas, y tal... Ahora el espacio del aula no es más simplemente para una clase expositiva. Es una clase más participativa. El profesor pasa a ocupar el papel de proponer una cuestión y aguardar que surjan cosas.*

En el análisis de los argumentos, las analogías surgieron como elemento básico que transponía la estructura de la mayoría de ellos, mostrándose esencial para la modelización con los alumnos.

## LAS ANALOGÍAS

Ha aumentado el número de estudios que llevan a la idea de que el aprendizaje se conduzca por medio de la construcción de modelos, vía razonamientos analógicos, partiendo de modelos mentales iniciales de los alumnos hasta llegar a los modelos consensuales de la ciencia (Krapas, Queiroz, Colinvaux, Franco y Alves, 1998). Los profesores se comportan como artistas-reflexivos, sobre todo por la creación y el empleo especial de analogías. En el estu-

dio mayor (Queiroz, 2000) que originó este artículo, se ha hecho una división en categorías de las analogías empleadas –de sentido amplio y de sentido estricto–, con la posterior subdivisión. Para este artículo, a título de ejemplo, se han seleccionado trechos de clases que muestran los caminos pedagógicos mirando hacia la modelización en electricidad.

Las analogías forman parte del discurso de científicos y profesores; las más consagradas se encuentran también en los libros didácticos. Tradicionalmente, su papel se consideraba limitado a los recursos del lenguaje, con función meramente decorativa (Ogborn et al., 1996), lo que condecía con el papel ilustrativo que recibían en la transmisión de las verdades científicas de un conocimiento considerado ya listo y definitivo.

Al adoptar una perspectiva que ve la ciencia como construcción de representaciones no «espejadas» en la realidad, las cuales aumentan la propia realidad, el uso del razonamiento analógico recibe nuevas formas por parte de los profesores artistas-reflexivos. Pasan a ver en ella el camino hacia la construcción de modelos para explicar fenómenos, hacer previsiones y resolver problemas empíricos y de concepto. Superan, sí, algunas de las limitaciones del movimiento de las concepciones alternativas y del cambio conceptual, una vez que los modelos suelen abarcar más que concepciones aisladas. Construir una nueva descripción de objetos, ideas y fenómenos, recurriendo a la modelización, parece más promisorio desde el punto de vista del aprendizaje que el intento de realizar cambios solamente a través de conflictos entre las ideas previas de los alumnos y las presentadas por el profesor.

En un artículo de revisión de 1991, Duit presenta los resultados ambiguos de las investigaciones iniciales que trataron de estudios empíricos, en educación en ciencias, sobre el empleo del razonamiento analógico en el aprendizaje. Si por un lado algunos estudios presentan las ventajas de las analogías dentro de una perspectiva *constructivista*, toda vez que llevan al profesor a considerar el conocimiento previo de los alumnos, por otro, hay un aspecto no tan auspicioso de la estrategia de enseñanza basada en la modelización analógica. Glynn y otros (Duit, 1991) lo consideran un «cuchillo de doble filo», debido al mal uso que muchas veces se hace de la estrategia, cuando los profesores se limitan a semejanzas superficiales entre los dominios involucrados.

Se destacó en la observación del ejercicio didáctico de los profesores en electricidad, el recurso de una cantidad expresiva de analogías instructivas estructuradas, algunas ya conocidas en la enseñanza tradicional de física, pero también muchas creadas por los profesores antes o durante las clases. Además de esto, la estrategia que las incluye valora las analogías traídas por los alumnos, colaborando en la construcción de un modelo para electricidad en circuitos.

Cuando se notaban limitaciones de determinada analogía en las clases, los profesores recurrían a otras para continuar tratando el mismo tema. No siempre las limitaciones de una analogía se compartieron con los alumnos durante las clases analizadas, como recomiendan los estudiosos, aunque fueron reconocidas por los profesores.

El arte de crear y probar analogías durante un proceso de enseñanza-aprendizaje con preocupaciones constructivistas, se reveló como un camino del desarrollo de las clases de los profesores de este estudio, que se tornan así ejemplos de sistemas físicos complejos, evolucionando hacia espacios más propicios para aprendizajes significativos, más fáciles por la preocupación constante de insertar dentro de su contexto las analogías empleadas en el cotidiano de los estudiantes.

### Análisis del uso de analogías en las instancias observadas en el estudio

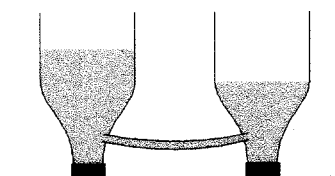
En las clases, los profesores observados demostraron de forma explícita que estaban involucrados en el proceso de evolución de sus alumnos hacia nuevos modelos. Por eso se incluyeron en el proceso de transformación de los contenidos científicos en saber escolar, creando modelos pedagógicos de sentido estricto y amplio, y alternando estrategias de argumentación. Dentro de la modelización, a veces se llevó a los alumnos a conflictos cognitivos, durante el trabajo con las analogías. Estas, por momentos, transpusieron los contenidos específicos de la Física del currículo, y su empleo tenía el objetivo de hacer conscientes a los alumnos sobre el proceso de cambio de representaciones. Tales analogías se han agrupado como analogías de sentido amplio<sup>4</sup>, dejando la categoría de analogías de sentido estricto para las institucionales. Han surgido subcategorías dentro de estos grupos citados como resultado del análisis de las diversas analogías empleadas. Los detalles de la división de las analogías en categorías constituyen otro artículo (Queiroz et al., 2001a), que se refiere a la misma investigación de base (Queiroz, 2000). A continuación, presentamos algunas analogías empleadas en las clases de electricidad que se han observado.

– Analogía teórico-experimental: Voltaje eléctrico, variación de presión hidrostática en recipientes comunicantes y variación de temperatura.

Poniendo cuidado en dar significado a la magnitud física estudiada, el profesor Mauro recurre a una analogía teórico-experimental presente en el libro didáctico que se había adoptado (Guimarães y Fonte Boa, 1997), entre diferencia de altura de dos recipientes comunicantes y diferencia de potencial eléctrico (el voltaje). Mientras explica, usa el modelo pedagógico (figura 2):

Figura 2

Modelo pedagógico: «recipientes comunicantes».



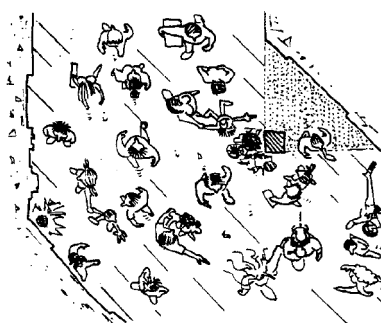
Profesor: *Seguramente ya han escuchado hablar, o están familiarizados, con la palabra voltaje. Peligro de alto voltaje. Cuando se compra un equipo, está escrito 110 Volts, 220 Volts, o algo de ese estilo. Aunque ustedes ya estén familiarizados, creo que no conocen bien su significado. Por eso les he traído un equipo, un juego, en realidad. Tenemos dos recipientes, conectados por un tubo (modelo pedagógico «recipientes comunicantes»), y dentro he puesto agua.*

Empieza a construir un modelo mental de lo que sucede en el dominio imperceptible de la electricidad:

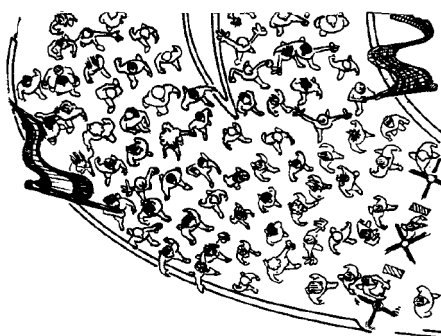
Profesor: *No es difícil notarlo... ustedes saben que en una situación como esta, en la que tengo un líquido, algún fluido, al ponerlo en este recipiente este tubo transfiere parte del líquido hacia allí, hasta que queden de la misma altura. Ya observaron que cuando las alturas de las dos co-*

Figura 3

Ilustración del libro adoptado (Guimarães e Fonte Boa, 1997), dibujada en la pizarra.



Shopping



Maracanã



lumnas son iguales, éstas adquieren la misma presión. Ya lo han visto. De esta forma, la situación alcanza el equilibrio.

Desarrolla el razonamiento, atribuyendo el movimiento del agua de uno de los lados hacia el otro a la diferencia de presión hidrostática. Trabaja al principio en el dominio-fuente para luego, hacer la analogía con dos placas con cargas eléctricas distintas, conectadas por un cable conductor.

#### – Analogías casi familiares

A veces, analogías de carácter animista empiezan explotando elementos presentes en dominios que les resultan familiares a los estudiantes. Sin embargo, existe un trabajo de creación de detalles y situaciones para que éstos se acerquen al dominio blanco, tornándolas, entonces, casi familiares. Este trabajo tiene el objetivo de hacer posible la construcción de un modelo totalmente nuevo de realidad.

a) Personas paseando y corriente eléctrica. Dibujando en la pizarra los dos dominios-fuente empleados para analogía (figura 3), el Profesor Mauro empieza:

Profesor: *¿En cuál de las dos situaciones podemos hablar de corriente humana? ¿Shopping o estadio Maracanã?*

Profesor: *Imaginaos que estamos en un Shopping Center, allá, en el Plaza Shopping, ¿vale? Entonces, tengo varias cabecitas de éstas, y estas flechitas que representan la dirección hacia donde las personas se dirigen. Vosotros concordáis en que, si el shopping no está ni abriendo ni cerrando, donde claramente las personas están entrando o saliendo, si en media sacamos una fotografía, una persona va hacia la izquierda, otra hacia la derecha, una hacia el norte, otra hacia el sur. Si por casualidad el tendero quisiera medir cuántas personas pasan... colocaría un molinete en el centro del shopping, registrándose +1 a la izquierda, -1 hacia a la derecha, etc. ¿qué ocurre en la media?*

Alumno: *Obtenemos cero.*

Alumnos: *Cero.*

Profesor: *Correcto, no hay una dirección preferencial. Ahora, el segundo ejemplo que os daré... es la salida del estadio Maracanã... Pero... ¿qué pasa si conecto este cable (dibujado en la pizarra) a una pila? Mis electrones serán atraídos hacia el polo positivo de la pila. Mis electrones no estarán más deambulando vagamente por el shopping, sino que estarán saliendo del estadio Maracanã. Así como se puede hablar de una corriente humana, aquí pasamos a hablar de una corriente de electrones... ¿Está bien, chicos?*

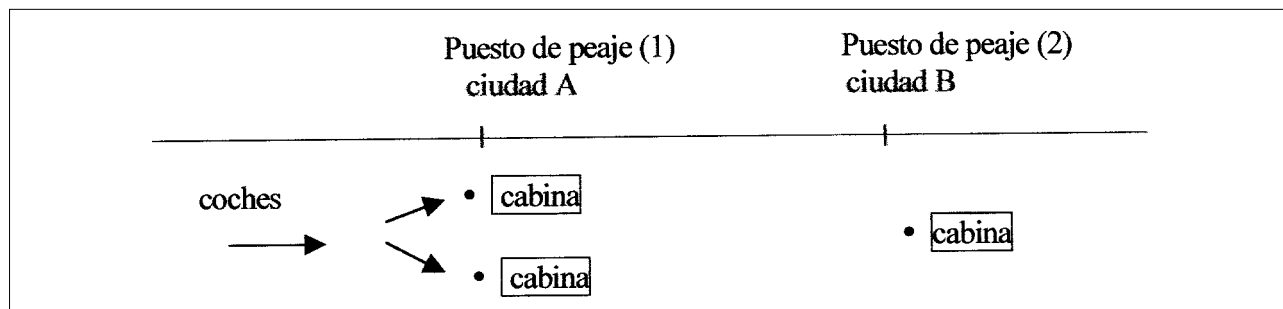
Tal analogía se empleó para introducir el concepto de corriente eléctrica como movimiento ordenado de cargas, aunque sabemos que los molinetes no suelen estar en los shoppings.

b) Pupitres en el aula y electrones en un sólido conductor. Se invitó a los alumnos a que imaginen los pupitres del aula en una situación nunca vista antes, o sea, en movimiento vibratorio, que molestaría a alguien que quisiera trasladarse de una extremidad a otra del aula.

Profesor: *Ya hemos visto en algunas clases que al tener algo como conductor metálico, con los átomos bien ordenaditos en el espacio y una nube electrónica, con los electrones que pueden pasear entre ellos... los núcleos están fijos en un cristal, y los electrones pasando... es como si yo tuviera en un aula, aquí, un orden de pupitres estáticos. Si soy un electrón, algo que tiene que pasar entre los pupitres, puedo perfectamente vislumbrar un camino sin que me choque contra éstos. A menos que un alumno me ponga el pie, podría pasar sin ningún problema. Bien, ahora vamos a suponer que estos pupitres tuviesen la capacidad de vibrar; no estarían más inmóviles, estáticos... podrían vibrar alrededor de una posición media... y en este caso, me resultaría mucho más difícil pasar entre los mismos sin rozarlos. Pues es exactamente esto lo que sucede aquí*

Figura 4

Esquema de carretera con peajes 1 y 2, en las ciudades A y B, dibujado en la pizarra.



con nuestros materiales. ¿Pero existe esto en la vida real? Sí, existe.

La vibración de los pupitres o de su análogo, la red cristalina del conductor metálico, se consideró responsable del aumento de la dificultad para que alguien logre alcanzar su objetivo de trasladarse de un extremo al otro, o de que un electrón atienda la demanda que la diferencia de potencial eléctrico le impone para trasladarse cuando la temperatura es mayor.

c) Una carretera con puestos de peaje (figura 4) y un circuito eléctrico. Una vez más, las situaciones en el campo-fuente –la carretera– se crearon en función de las que el profesor Luiz Alberto desea abordar en el campo-blanco: circuitos eléctricos.

Profesor: *Voy a emplear otra analogía. Miren, chicos: mi circuito eléctrico traducido para un circuito de coches en una carretera. Esto es una carretera. Tú vives en la ciudad A, y trabajas en la ciudad B. La carretera es tan larga que la ley permite que de tantos en tantos kilómetros uno ponga un puesto de peaje. Entonces, tienes un puesto aquí (1). En el puesto 1 la empresa ya ha puesto dos cabinas, en aquél (2) solamente una. La inauguración se realizó con mucha prisa... tienen solamente una.*

Características análogas a las del objetivo surgen poco a poco durante la clase, y se refieren: (1) a la habilidad del cobrador, que representará la resistencia de la bombilla; el cobrador más hábil ofrecerá menos resistencia al paso de los coches; (2) al dinero que cada cabina va a gastar, que va a representar la energía emitida por la bombilla: más cabinas de peaje en serie, más dinero, y en la cabina de peaje en paralelo, la misma suma de dinero; (3) a la conservación de la corriente eléctrica, una vez que lo que permanece en la cabina no es el coche (carga eléctrica) sino el dinero (energía eléctrica) que su conductor transporta. El profesor establece, entonces, las comparaciones entre la carretera y el circuito:

Profesor: *¡Chicos! Los coches pasan, y lo que queda es «money». Vamos a suponer que pasan 60 coches por minuto por esta carretera. Eso es la corriente. Miren: 10 Amperes, 10 Coulombs por segundo. ¿Qué apreció aquí, en este punto del circuito? En el circuito lo llamamos de nudo, nudo, un punto del circuito donde el cable se divide en 2, 3, 4. ¿Vale? Es una pitadita. Cuando llega la corriente, cuando los coches llegan normalmente, uno ve el puente, uno va acercándose y ya va buscando qué cabina de peaje está menos llena, y tal. ¿Qué se espera que suceda en las cabinas A y B? Una parte de los coches pasan por aquí. ¿Uno produce una división de corriente, están de acuerdo? Los coches que pasan por minuto. ¿Obligatoriamente 30 coches pasarán por aquí y 30 por allí?*

Alumna: *¡No!*

Profesor: *Va a depender de una característica, fundamentalmente de la habilidad del cobrador.*

Señalando ya sea la carretera, ya sea el circuito, sigue el razonamiento análogo, acompañado por los alumnos:

Profesor: *Un tío es medio arisco, otro es más lento. Puedes tener tranquilamente 40 coches pasando por aquí y 20 por allí. Pero algo es seguro: si tú estás seguro de que por aquella cabina están pasando 40, sin duda alguna por la otra están pasando los 20 restantes. Aquí estamos usando algo que se usa todo el tiempo en el circuito. Siempre que hay un nudo en un circuito, y hasta ese nudo llega determinada corriente, Coulombs por segundo, y esto se bifurca. (El profesor Luiz Alberto hace las bifurcaciones con una de sus manos, y sus dedos muestran los distintos caminos.) Si se suman todas estas bifurcaciones. ¿Cuánto vamos a tener?*

Alumnos: *10.*

Profesor: *Los 10 Amperes que hasta allí llegaron. Vamos a volver al circuito eléctrico, chicos. Llegan 10 Coulombs por segundo hasta aquí. Tú ofreciste una posibilidad... Si la habilidad de los dos funcionarios fuese igual, por estadísticas, la probabilidad es que pasen igualmente por ambos. En el circuito eléctrico vamos a reemplazar la habilidad del cobrador por la resistencia eléctrica. Si las resistencias son iguales, se esperarían 5 Coulombs por segundo... Chicos, por favor, sólo es igual aquí, pues he traído bombillas iguales. Ahora no me interesa que sean distintas. Me interesa, sí, discutir esta posibilidad. Sigamos. Vamos a suponer que este peaje cuesta 2,00 reales por coche. Pregunto: ¿un coche que pasa por el primer peaje paga 4,00 reales?*

Alumnos: *No.*

Profesor: *¿Por qué no gastó 4,00? Porque aunque tenga las dos cabinas, el coche pasa solamente por...*

Profesor y alumnos: *Una cabina.*

Profesor: *Esto es obvio, pero aquí en el circuito... tenemos que llevarlo hacia allá. Cuando te encuentras con una conexión en paralelo, única fuente. Si te dijera que ésta de aquí (resistencia en paralelo, de arriba) consumió diez joules de cada Coulomb y ésta de aquí (resistencia de abajo) también, tú no lo sumarías ni dirías que aquí consumió veinte (su mano sube y baja por las dos resistencias). Porque sucede como en el peaje, puede haber una cabina consumiendo más que la otra.*

Alumno: *Lo que pasó por éste no gasta en aquél, y lo que pasó por aquél no gasta en éste, y nunca se sumaría el voltaje aquí (arriba) y el voltaje allí (abajo). Sólo vale una vez. Nadie va a llegar a B y gastar 6 reales. ¿Cuánto se gasta para llegar hasta B?*

Los demás alumnos: *4 reales.*

El mismo profesor, durante la entrevista, presenta su definición para analogía:

Profesor: *Pues... ¿qué es una analogía, en mi opinión? Sería un modelo ya construido por alguien que sabe qué camino seguir en dicho modelo, y que tú utilizas como paralelo para que este mismo alguien construya otro modelo allí. ¿No es así?*

El análisis del empleo de analogías por el profesor demostró ser algo más que esto, una vez que se realizan cambios en el propio dominio-fuente para atender las demandas pedagógicas del dominio-blanco, pero dentro siempre de un grado de plausibilidad reconocido por los alumnos.

Para construir un modelo de electricidad en un circuito eléctrico, se ha invitado a los alumnos de los profesores observados a entrar al mundo microscópico, llevando para este fin conceptos y modelos desarrollados para el mundo macroscópico. Lo importante del proceso de modelización fue que el modelo no fue presentado ya listo para que los alumnos lo copiasen. Al contrario, han sido diversas las oportunidades propiciadas para su construcción, con la participación activa de los alumnos.

Como se puede abstraer del libro didáctico que ha sido adoptado<sup>5</sup>, y habiéndolo declarado el profesor Luiz Alberto durante la entrevista, su objetivo en electricidad es lograr que los alumnos construyan un modelo de conducción eléctrica que incluya la transformación de energía eléctrica en otros tipos de energía: luz, calor, sonido, etc.

Él afirma, también, que basa la didáctica de modelización, en este asunto, en tres cimientos:

1 - Corriente eléctrica: argumentos y analogías para cambiar conceptos de no-conservación de corriente y de velocidad muy alta de las partículas que cargan la electricidad;

2 - Diferencia de potencial (d.d.p.): argumentos y analogías para distinguir voltaje de corriente eléctrica; y

3 - Transformación de energía: argumentos y analogías para construir el modelo microscópico de fricción de las cargas eléctricas y la red iónica.

Un cambio significativo en la manera de ver el mundo resulta imprescindible para hacer inteligible el mundo físico. Al comprender cómo se comportan los entes físicos microscópicos se puede estructurar la base conceptual que es necesaria para la modelización en electricidad, llevando hacia las nociones de corriente, generador, resistor, diferencia de potencial, energía, circuito, etc. La nueva visión del mundo tiene como núcleo la hipótesis atómica, según la cual todo está compuesto por átomos, pequeñas partículas que se trasladan en movimiento constante, que a su vez se subdividen en otras partículas, entre ellas electrones e iones, los portadores de la corriente eléctrica. Se observó un gran trabajo por parte de los profesores analizados en aras en la elaboración de esta nueva visión de mundo.

## CONSIDERACIONES FINALES

Dentro de una perspectiva *constructivista*, consideramos que «los fenómenos sociales que intentamos comprender son fenómenos contruidos mediante la interacción social de los agentes implicados en un entorno cultural, social y material determinado» (Pérez Gómez, 1997). La complejidad y polisemia de los fenómenos educativos se mani-

fiesta en la situación especial de una escuela abierta a innovaciones pero presionada socialmente por un contexto educacional más amplio. La investigación centrada en las clases innovadoras de los sujetos estudiados ha indicado la relevancia de las dimensiones estéticas y técnicas de sus repertorios de saberes, así como las emociones vividas en el aula; los videos y las entrevistas de esclarecimiento fueron muy valiosos para acompañar paso a paso la modelización cualitativa de fenómenos, una de las metas educativas principales de los docentes en foco.

Esperamos que la abundancia y minuciosidad de las descripciones sustanciosas que hemos hecho puedan provocar y facilitar la tarea reflexiva de los lectores: docentes e investigadores. Momentos cargados de detalles vivos sobre hechos, emociones, ideas, caminos didácticos están aquí descriptos para dar una sensación de «estar allí» y compartir con los sujetos de la investigación algunos momentos vividos. La observación en el campo parece imprescindible para ir más allá de las meras expresiones verbales sobre la conducta de los docentes, y detectar el reflejo en la práctica de sus representaciones subjetivas, así como observar la construcción *in locus* de muchos detalles técnicos y estéticos que van a componer las innovaciones didácticas de sus repertorios.

Las aulas observadas fueron sistemas de intercambio de significados, un escenario vivo de interacciones motivadas por intereses de alumnos y docentes, los últimos con preocupaciones innovadoras con base en una filosofía *constructivista* que pueda conducir a una enseñanza activa, es decir, no magistral, buscando siempre una participación máxima de los alumnos.

En el conjunto de las clases que han sido observadas y comentadas en el presente artículo, los alumnos han tenido oportunidades de construir modelos, en especial un modelo científico avanzado de electricidad, en el cual la corriente eléctrica está formada por cargas en movimiento bajo el efecto de una diferencia de potencial que crea un campo eléctrico en el interior del circuito. Sin embargo, los datos que hemos obtenido no nos permiten asegurar que esto se haya alcanzado, ya que aun abandonando el modelo de electricidad como flujo de una sustancia, la electricidad, ellos podrían haber llegado apenas a un modelo evolucionado con respecto al anterior, que es el de la electricidad como cargas en movimiento (Borges, 1999). Creemos que la adecuación de la analogía «coches en una carretera con peajes» ha colaborado para evitar este riesgo, ya que el dinero que los conductores llevan para abonar el importe del peaje está disociado del movimiento de los coches: «los coches pasan, lo que queda es *money*». A pesar de eso, tal modelo no encaja completamente con aquél que la ciencia inventó para describir circuitos eléctricos: micropartículas vibrando y transmitiendo su energía, adquirida de una fuente que produce la excitación inicial, a otras partículas presentes en los conductores, hasta alcanzar los elementos pasivos de los circuitos, los resistores, que transforman esa energía en luz, calor, vibración, etc.

La falta de una evaluación formal sobre el modelo que quedó grabado en las mentes de los alumnos deja algunas

dudas sobre si éste fue el modelo incorrecto de electricidad como cargas en movimiento, que, según Borges, es el principal producto de la enseñanza de electricidad al nivel secundario. Esto es un ejemplo de cómo la complejidad que acarrea el aula, con variables internas y externas intercomunicadas, conduce el trabajo del profesor según las necesidades impuestas por la atención de las necesidades más preeminentes, como en el caso de un examen de la selectividad durante la víspera. La práctica de ejercicios tomó muchas clases.

Del estudio más amplio podemos inferir que otros factores de naturaleza no cognitiva, sino social y afectiva, contribuyeron a la construcción de los modelos por parte de los alumnos. Tales factores han sido explotados por los profesores, con técnica y estética, con sensibilidad y creatividad.

Volviendo a la metáfora del sistema físico complejo que recibe distintas influencias de elementos que interfieren en el ejercicio de la docencia, lo que el presente trabajo intenta mostrar es que la energía proveniente del exterior de las aulas analizadas ha sido renovada a través del contacto que estos profesores mantienen con la investigación en la didáctica de las ciencias. Al «procesar tal energía», se ha generado conocimiento pedagógico que lleva pujanza al desarrollo profesional de los docentes que actúan en una escuela que torna posible e incentiva el trabajo innovador del grupo.

Con respecto a la formación de los profesores, el trabajo señala situaciones compartidas por profesores en forma-

ción inicial y sus formadores en la universidad y por profesores artistas-reflexivos que reflexionan sobre representaciones estéticas y técnicas oriundas de la experiencia compartida por una red de profesores en ejercicio, en los distintos niveles educativos (Queiroz, 2001b).

## NOTAS

<sup>1</sup> Según Schön (1992a), el término fue creado por I. Scheffler para referirse a la confusión y a la incertidumbre en los momentos de enseñanza/aprendizaje.

<sup>2</sup> Montaje en madera con salidas para bombillas, en el cual desde una y hasta cuatro bombillas pueden ser conectadas a la red eléctrica en circuitos en serie, en paralelo o mixtos. Las salidas de las bombillas pueden permanecer vacías u ocupadas por bombillas o pequeños pedazos de cables conductores.

<sup>3</sup> El peaje funciona como una resistencia en un circuito eléctrico, dado que el pasaje de un número mayor o menor de coches va a depender de la agilidad del guardia en el puesto de peaje.

<sup>4</sup> La nomenclatura que distingue las analogías de sentido amplio y de sentido estricto se ha inspirado en una semejante realizada para un modelo pedagógico por Krapas, Queiroz, Franco y Alves (1998).

<sup>5</sup> La palabra «modelo» aparece explícitamente en el volumen *Electricidad y Olas*, de la colección Guimarães y Fonte Boa (1997), p. 40.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BORGES, T.A. (1999). Como Evoluem os Modelos Mentais. *Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências UFMG*, v. 1, n. 1, pp. 85-125.
- DUIT, R. (1999). Toward multiple-perspective views of science learning and instruction. Xerox of Second International conference of the European Science Education Research Association, E.S.E.R.A. Kiel.
- DUIT, R. (1991). On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Science. *Science Education*, v. 75, n. 6, pp. 649-672.
- EISNER, E. (1979). *The Educational Imagination On the Design and Evaluation of School Programs*. Nueva York: Macmillan Publishing Co Inc.
- GILBERT, J. y BOULTER, C. (1995). Learning science through models and modelling. In: *The International Handbook of Science Education*. Org. Frazer, B. y Tobin, K. Dordrecht: Kluwer.
- GLYNN et al. (1991). Analogical reasoning and problem solving in science textbooks. In: *A Handbok f Creativity: Assessment, research and theory*. New York: Plenum. Apud DUIT, R. On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Science. *Science Education*, v. 75, n. 6, pp. 649-672.
- GÓMEZ, A. PÉREZ (1997). *Historia de uma Reforma Educativa*, Sevilla: Diada Editorial, S.L.
- GUIMARÃES, L. A. y FONTE BOA, M. (1997). *Física para o 2º Grau. 3 volumes: Mecânica; Eletricidade e Ondas; Termologia e Óptica*. São Paulo: Harbra.

- 
- JACOB, F. (1983). *A Lógica da vida*. Rio de Janeiro: Edições Graal.
- KRAPAS, S., COLINVAUX, D., ALVES, F. y QUEIROZ, G. (2000). Modelos: Aprofundando Sentidos na Literatura de Pesquisa de Educação em Ciências, *Cd-rom do X EPEF* Florianópolis.
- KRAPAS, S., QUEIROZ, G., COLINVAUX, D., FRANCO, C. y ALVES, F. (1998). Modelos: Terminologia e Sentidos na Literatura de Pesquisa em Ensino de Ciências. *Investigação em Ensino de Ciências*, v. 2 n. 3, pp. 1-18.
- MEC/SEMTEC (1998). Recomendações para a área de Ciências da Natureza, Matemática e Tecnologias no Ensino Médio, Brasília.
- MOREIRA, M.A. (1997). Modelos Mentais *Investigação em Ensino de Ciências UFRGS*, v. 3, pp. 1-39.
- NERSESSIAN, N. (1995). Should Physicists Preach What They Practice? Constructive Modeling in Doing and Learning Physics. *Science & Education*, v. 4, pp. 203-206.
- NUD\*IST 4. (1997). Software Copyright: Qualitative Solutions and Research Pty Ltd.
- OGBORN, J., KRESS, G., MARTINS, I. y MCGILICUDY, K. (1996). *Explaining science in the classroom*. Buckingham: Open University Press.
- OLIVEIRA, P.M.C. (1993). Sistemas Complexos. *Ciência Hoje*, 16(92).
- PÉREZ GÓMEZ, A. (1992). O Pensamento Prático do Professor: A Formação do Professor como Profissional Reflexivo, En: *Os professores e a sua formação*. Org. Nóvoa, A. Lisboa: Publicações D. Quixote.
- PINTÓ, R., ALIBERAS, J. y GÓMEZ, R. (1996). Tres Enfoques de la Investigación sobre Concepciones Alternativas. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (2), pp. 221-232.
- POSNER, H., STRIKE, HEWSON y GERTZOG. (1982). Accomodation of a Scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science & Education*, v. 66, n 2, pp. 211-227.
- QUEIROZ, G. (2000). Professores Artistas-Reflexivos de Física no Ensino Médio. Tese de Doutorado. PUC/RJ, Rio de Janeiro. <http://www.cen.g12.br/tese/gloria/>
- QUEIROZ, G., GUIMARÃES, L.A. y FONTE BOA, M. (2001a). O Professor Artista-Reflexivo de Física, a Pesquisa em Ensino de Física e a Modelagem Analógica, *Revista da ABRAPEC*, vol. 3, set-dez.
- QUEIROZ, G. (2001b). Processos de Formação de Professores Artistas-Reflexivos de Física. *Revista Educação & Sociedade*, 74, pp. 97-117.
- SCHNEIDER, E.D. y KAY, J. (1997). Ordem a partir da desordem: a termodinâmica da complexidade biológica pg 187- 201 Em: *O que é vida? 50 anos depois*. Org. Murphy, M. y O’Neil, L. São Paulo: Editora da UNESP.
- SCHÖN, D. (1992a). Formar Professores como Profissionais reflexivos. Em: *Os professores e a sua formação*. Organizado por Nóvoa, A. Lisboa: Publicações D. Quixote.
- SCHÖN, D. (1992b). *La Formación de profesionales reflexivos*. Barcelona, Buenos Aires, México: Ediciones Paidós.
- SHULMAN, L.S. (1986). Those who understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), pp. 4-14.
- SHULMAN, L. S. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, 57(1).